

粒状 PCM を適用した外付け蓄熱ブラインドの日射遮蔽性能に関する研究

会員外 ○宇佐美 大将*¹
正会員 三浦 誠*²
同 石戸谷 裕二*³
同 草間 友花*⁴

4.環境工学－8.熱

潜熱蓄熱、相変化物質(PCM)、外付けブラインド、日射遮蔽、省エネルギー

1. 研究の背景と目的

近年、空調需要期における最大電力需要の増大と、昼夜間の需要差を主因とした電力需給のギャップが顕在化する中で、家庭やオフィスビル等における最大空調負荷の抑制(ピークカット)と、負荷移動(ピークシフト)が喫緊の課題となっている。

本報で取り上げる潜熱蓄熱材(Phase Change Material; 以下 PCM)は、一定温度での熱授受が可能で、蓄熱効率が比較的高いなどの特長があり、前述の課題を解決する目的で空調システムへの適用性が検討されてきた。例えば、パンプ利用を前提とした躯体蓄熱空調^{1),2)}のほか、床吹き出し空調³⁾などの提案があるものの、今のところ一般的な普及は遅れているようである。本報は先行研究⁴⁾を参考にしながら、新規に開発した粒状 PCM の空調システムへの適用可能性を明らかにするために、中空アルミブレードに粒状 PCM を充填した外付けブラインドを作成し、蓄熱性能、日射遮蔽性能について実験的検討を加えた。

2. パラフィン系粒状 PCM の概要

前述のように、物質の融解と凝固に伴う潜熱を応用した蓄熱材の検討は、無機水溶液、無機水和物、糖・アルコールなどの物質でも行われてきたが、それぞれ金属腐食、物質変化、過冷却などの問題があることが知られている。一方、融点が生活温度帯に点在し、生分解性が高く環境負荷も小さいパラフィン系蓄熱材は、空調用途への適用可能性の高さが指摘されてきた⁵⁾。潜熱蓄熱材は一般的に金属容器、アルミ複合材フィルムを用いたパック状容器、樹脂容器などに封入して使用されるが、重量当たりの表面積が比較的小さく、凝固が始まると容器内壁部の熱抵抗が大きくなるため、蓄熱速度が遅いなどの欠点が指摘されてきた。これらの課題を解決するために蓄熱材のマイクロカプセル

化、粒状化が試みられてきたが、皮膜厚さが非常に薄いことから、容器皮膜の破壊や昇華による蓄熱材の漏洩、放散が懸念されている。

本研究では、n-パラフィンをエラストマーでゲル化して融解時の弾性を保持しつつ、表面を特殊な樹脂で被覆することで n-パラフィンの漏洩を防止できる新機構の粒状 PCM(CALGRIP: JSR 社製)を採用した。以下に、その基本特性を明らかにするとともに、粒状 PCM を適用した蓄熱空調システムの負荷削減効果を実験的に検討する。使用した粒状 PCM の外観を写真 1 に、概要を表 1 に示す。



写真 1 粒状 PCM の外観

表 1 粒状 PCM の概要

項目	単位	粒状PCM名称			
		PM045	PM506	PM507	PM078
融点	℃	14	26	32	54
凝固点	℃	13	24	33	56
融解熱量	kJ/kg	193	200	199	134
密度(液相)	kg/m ³	780	790	780	n.d.
密度(固相)	kg/m ³	920	980	910	890
かさ比重(固相)	kg/m ³	380	558	530	567
等価粒径	mm	3.25	3.85	3.80	3.97

*資料提供: 等価粒径以外のデータはJSR(株)より提供いただいた。

3. PCM 蓄熱ブラインドの日射遮蔽性能

一般的に外付けブラインドの日射遮蔽率は単板ガラスと組み合わせた場合でも 0.8 程度であり、カーテン、内付けブラインド、紙障子などよりも省エネルギー効

A study on solar radiation shielding performance of external sunshade which is applied a granulated n-paraffin

USAMI Hiromasa et al.

果が高いことが知られている。一方、外付けブラインドは耐候性や強度に関する要求性能が高く、ステンレスやアルミなどの金属が用いられるため、日射受熱時には表面温度が上昇して、二次放射により熱が室内へと侵入することになる。本研究では、アルミ製のブレードに PCM を充填して蓄熱性能を付与することで、昼間の温度上昇を抑制し、二次放射による熱侵入量を削減することを目的とした。

3.1 PCM 蓄熱ブラインドの概要

押し出し成形された中空アルミ製ブレード(ENC-10H: オイレス ECO 社製)に、ゲル状および粒状の PCM(いずれも CALGRIP: JSR 社製)を充填して蓄熱ブラインドを作製した。比較対象は非充填ブラインド(以下、ブランク)であり、加熱チャンバーによる蓄熱性能測定試験と夏季の日射暴露試験によってその性能を検討した。また、粒状 PCM の採用で、製造上の課題であった充填作業の簡素化が可能になった。

3.2 蓄熱性能に関する実験

ブレードに充填する蓄熱材の融点選択と充填量を最適化するために、異種の PCM を充填したブレードを加熱して表面温度と蓄熱量を測定した。実験で使用した PCM 充填後のブレード断面を写真 2、写真 3 に、PCM ブレードの一覧を表 2、表 3 に示す。

ゲル状 PCM の充填作業は、エラストマーの流動性が発現する 90°C まで湯煎により加熱し真空引きをしながら行ったが、温度が低下するとブレード内部で凝固が始まり充填ムラが生じるため、ブレードを加熱しつづける必要がある。一方、粒状 PCM は簡単な治具での充填が可能で、引火などの危険性もなく作業時間も短縮されるなど、製造工程における生産効率を上げられる。しかし、長さ当り充填量を比較すると、ゲル状 PCM が平均 650(g/m)であるのに対し、粒状 PCM では 343(g/m)と充填量は約 53%にとどまった。

断熱材 (FP40mm) で作製した加熱チャンバーの中央部に PCM 蓄熱ブレードをつり下げ、内部に設置した面状ヒータ(1P, 100V, 450W)の電圧を一定に保ちながら加熱してブレードの蓄熱量を測定した。表面温度と表面熱流は表面に貼付けた熱流計(M55A:江藤電機製)を用いて 1 分間隔で測定した。蓄熱量測定実験の様子を写真 4、写真 5 に示す。なお、ブレードの蓄熱量 Q (J/m)は、熱流 \dot{q} (W/m²)、表面積 A (m²)、時間間隔 Δt (s)、長さ L (m)から式(1)で定義した。

$$Q = \dot{q} \cdot A \cdot \Delta t / L \quad (1)$$

ブレードの加熱実験の結果を図 1、図 2 に示す。図をみると、ブランクの蓄熱量は表面温度に対して線形的な変化を示すものの、ゲル状 PCM および粒状 PCM を充填したブレードの蓄熱量は融点付近で急激

に増加しており、潜熱蓄熱の特長を反映した性状を示している。一方、ゲル状 PCM の蓄熱量は融点近傍における増加率が非常に大きい、粒状 PCM では増加率がやや緩慢となった。これは、粒状 PCM の充填によりブレード内に空隙が生じ、蓄熱層の熱伝導性が低下したことに起因するものと考えられる。また、2種類の粒状 PCM を混合充填した BL-3250 の蓄熱量は、BL-32 および BL-50 の中間的な性能を示した。粒状 PCM を充填したブレードの蓄熱量はブランクに対して 5~7 倍程度であるものの、ゲル状 PCM を充填した PCM ブレードと比較すると、PCM のかさ比重の減少により単位長さ当たり蓄熱量が 65%にとどまる(表 2、表 3)。蓄熱量の確保を優先する場合には、ゲル状 PCM の採用が好適となる。

表 2 ゲル状 PCM を充填したブレードの一覧

項目	単位	PCMブレード名称			
		ブランク	BL-B	BL-25G	BL-32G
表面積	m ² /m	0.213			
空重量	kg/m	0.721			
充填PCM名称	—	—	PM506	PM507	PM508
PCM充填量	kg/m	—	0.653	0.645	0.651
潜熱量(DSC)	kJ/m	—	130.6	128.4	130.2
蓄熱量(実測) (20°C~50°C)	kJ/m	8.0	68.8	82.4	58.0

表 3 粒状 PCM を充填したブレードの一覧

項目	単位	PCMブレード名称			
		ブランク	BL-B	BL-32	BL-3250
表面積	m ² /m	0.213			
空重量	kg/m	0.721			
充填PCM名称	—	—	PM507	PM507 PM078 (各50%wt)	PM078
PCM充填量	kg/m	—	0.328	0.345	0.356
潜熱量(DSC)	kJ/m	—	65.3	57.5	47.7
蓄熱量(実測) (25°C~55°C)	kJ/m	8.0	53.4	50.2	36.0



写真 2 ゲル状 PCM の充填 写真 3 粒状 PCM の充填



写真 4 加熱チャンバー 写真 5 熱流計の添付

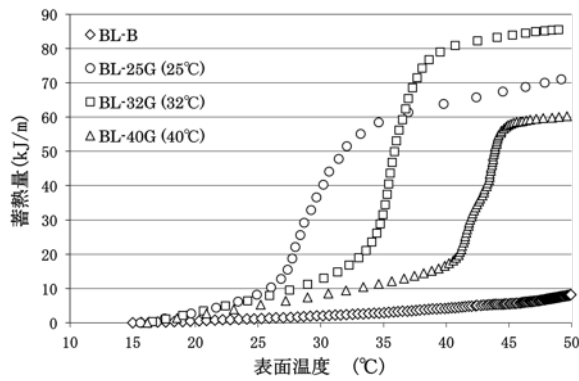


図1 ゲル PCM を充填したブレードの蓄熱量

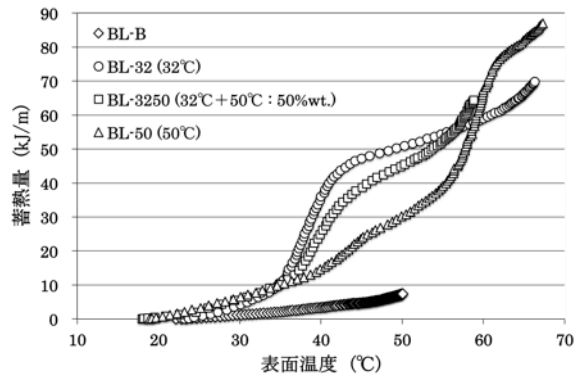


図2 粒状 PCM を充填したブレードの蓄熱量

3.3 PCM 充填が日射遮蔽性能に及ぼす影響

夏期における PCM ブラインドの冷房負荷削減効果を検討するために、北海道職業能力開発大学校(小樽市)の学内に設置した実験棟南面ガラス窓に粒状 PCM を充填したブラインド(写真6(右))とブランクブラインド(写真6(左))を外付け設置して、室内への透過日射量、ブレードの表面温度、室内環境を1分間隔で測定した。ブラインドの概要を表4に示す。



写真6 PCM ブラインド 写真7 背面の状況

表4 PCM ブラインドの概要

項目	単位	仕様
PCMブレード名称		BL-3250
外形寸法	mm	2,000(H)×1,700(L)×214(D)
ブレード枚数	枚/台	20
ブレード長さ	mm	1,650
ブレード仰角		水平面より-55度
充填PCM名称		PM507+PM078 (各50%wt)
PCM充填量	kg/台	11.8
潜熱量	kJ/台	1,898

図3は測定期間における PCM ブラインドとブランクの表面温度差の推移を示している。昼間、PCM ブラ

インドの最高温度はブランクより 4~7°C程度低いものの、日没後には蓄熱の影響によりこの傾向が逆転している。また、潜熱分の放熱が収束すると表面温度の差異は、無視できる程まで低下する。図4にブラインドの熱画像を示すが、PCM ブラインドの温度は7°C低い。

図5に室内で測定した透過日射量の推移を示した。PCM ブラインドの透過日射量はブランクよりも、15から20(W/m²)程度抑制されていることが確認できる。前述の表面温度差の測定結果と合わせて考えると、複層ガラスの影響を含めた二次放射の等価的放射熱伝達率は、3.0 から 3.5(W/m²/K)程度であるといえよう。



図3 ブラインド表面温度差の推移(2013/9/17-9/24)

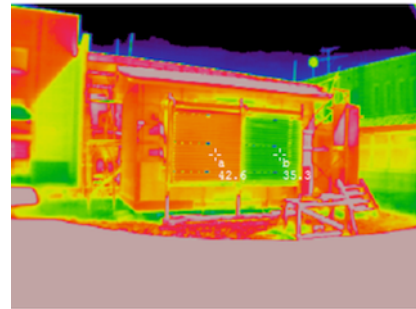


図4 ブラインドの熱画像 (PCM ブラインドは 7°C低い)

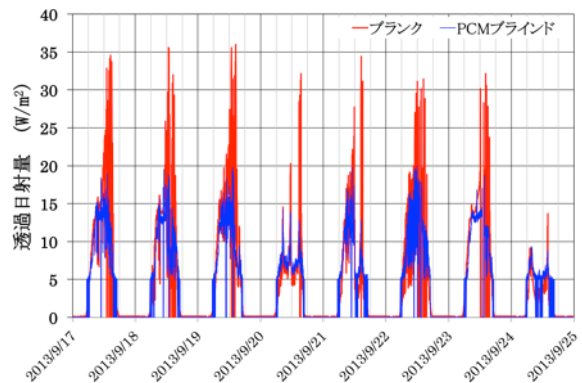


図5 室内への透過日射量の推移(2013/9/17-9/24)

透過日射量の日積算値と、次式で定義した透過日射量削減率 ϕ の推移を図6に示す。ただし、 Q_b と Q_{pcm} (kJ/m²/day)は、ブランクブラインドおよびPCM ブラインドを設置した時に、室内で測定された透過日射量の日積算値である。

$$\phi = (Q_b - Q_{pcm}) / Q_b \quad (2)$$

図6から、透過日射量が多い日にはPCMブラインドの削減率に増大が見られるものの、曇天日には逆転する結果となった。透過日射量削減率を日照時間で整理し検討したところ、削減率が逆転する日の日照時間は1時間程度であることが明らかとなった。これらの日にはブラインドの使用そのものが不要であることが予測されるため、日照時間が1時間以上の日の透過日射量を集計して、削減率を議論することとした。

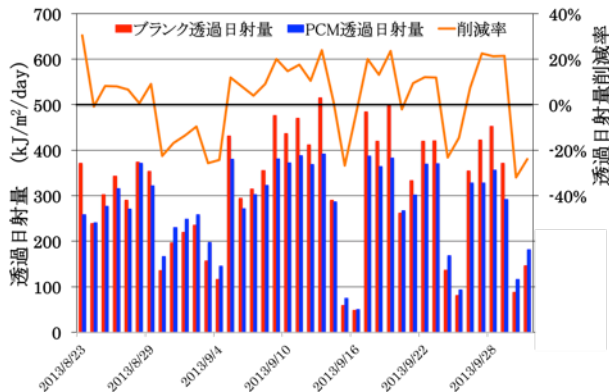


図6 室内への透過日射量(2013/8/23-10/1)

表5 外付けブラインドの透過日射削減量

項目	単位	
測定期間		2013/8/23~10/1
測定場所		小樽市に設置した実験棟
ブラックブラインドの透過熱量	kJ/m ²	10,853
PCMブラインドの透過熱量	kJ/m ²	9,441
PCM充填による透過熱削減量*	kJ/m ²	1,412
PCM充填による透過熱削減率*	%	13.0 (30.0: 最大)

*測定期間中、日照時間が1時間未満の日の測定値を除外した。

粒状PCMを充填したブラインドの透過日射量の削減量を表5に示すが、日透過日射量は最大で30%、期間平均で13%削減された。また、期間中の入射熱削減量は1,412(kJ/m²/月)であり、PCMブラインドの蓄熱による冷房負荷削減効果が確認できた。また、粒状PCM充填による削減率はゲル状PCMを充填した既往の研究とほぼ一致していた。前述のように、ブラックブラインドの日射遮蔽係数を0.8とすると、PCMブラインドの遮蔽性能は0.9に相当する。

4. 総括

本研究で得られた知見を、以下に総括する。

*1 北海道職業能力開発大学校

*2 北海道職業能力開発大学校准教授・博士(工学)

*3 室内気候研究所・博士(工学)

*4 室内気候研究所・修士(工学)

- 1) 粒状およびゲル状のPCMを中空アルミブレードに充填した試験体を周囲から加熱して、PCM蓄熱ブレードの蓄熱性能を定量化した。
- 2) 粒状PCMの採用により、中空ブラインドへの充填作業が飛躍的に簡素化されたものの、かさ比重の減少により蓄熱量が35%程度減少した。
- 3) 融点の異なる2種類の粒状PCMを混合して加熱すると、蓄熱量、温度変化などの蓄熱性状は双方の粒状PCMの中間的な性質を示した。
- 4) PCMブラインドを実験棟の南面窓に外付けして受照時の表面温度をブラックと比較したところ、4~7℃の表面温度抑制効果が確認できた。
- 5) PCMブラインドからの二次放射熱量は、ブラックよりも15~20(W/m²)程度低かった。また、複層ガラスを含めた等価放射熱伝達率は、3.0~3.5(W/m²/K)であると予測される。
- 6) 日照時間が1時間以上の日では、PCMブラインドの透過日射量はブラックよりも少なかった。
- 7) 粒状PCMのブラインドへの充填により日射透過量が最大で30%、期間平均で13%減少し、入射熱量を1,412(kJ/m²/月)削減できた。外付けブラインドの日射遮蔽係数が0.8であるとすれば、PCMブラインドの遮蔽係数は0.9に相当する。

謝辞

本研究を行うにあたりJSR(株)、オイレスECO(株)にご協力をいただいた。ここに、記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 草間友花他: 潜熱蓄熱材を利用した躯体蓄熱空調の負荷削減効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp145-146, 2012.9
- 2) 近藤武士他: 潜熱蓄熱壁体による躯体蓄熱システムに関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第540号, pp.23-29, 2001.2
- 3) 長野克則他: 粒状潜熱蓄熱材を適用した躯体蓄熱床吹出し空調システムに関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第579号, pp.21-28, 2004.5
- 4) 石戸谷裕二他: ダブルスキン内に設置したPCMブラインドによる日射利用空調システムに関する研究, 空気調和・衛生工学会 大会学術講演論文集(北海道), pp1013-1016, 2012.8
- 5) 小坂峯雄他: 蓄熱の研究(その7) 冷暖房・給湯用潜熱蓄熱材について, 名古屋工業技術試験書報告, pp.53-61, 1980

Hokkaido Polytechnic College

Assoc. Prof., Hokkaido Polytechnic College, Dr. Eng.

Institute of Indoor Climate, Dr. Eng.

Institute of Indoor Climate, M. Eng.